ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, AND MANAGEMENT



УДК 004: 378.147 10.23947/1992-5980-2017-17-1-132-143

Обзор литературных источников по теме «Автоматизация составления расписания занятий и экзаменов в высших учебных заведениях»*

В. М. Аль-Габри**
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Literature review for the topic of automation of scheduling classes and exams in higher education institutions***

W. M. Al-Gabri**
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Расписания занятий и экзаменов являются важнейшими компонентами организации обучения. Их качество напрямую влияет на успешность освоения учебных материалов, играет важную роль в обеспечении физического и психологического здоровья участников образовательного процесса. В статье рассматривается влияние особенностей образовательных систем на постановку и методы решения задач при построении расписаний. Основное внимание уделяется проблемам построения расписаний в высших учебных заведениях.
Материалы и методы. Излагаются результаты аналитического исследования ряда российских и зарубежных источников, посвященных методам и алгоритмам автоматизации построения расписаний занятий и экзаменов. Данные методы и алгоритмы сравниваются с позиций современных методов системного анализа. Расписание рассматривается как часть системы поддержки образовательного процесса и, в свою очередь, обладает признаками системы, объединяющей такие объекты, как обучающиеся, преподаватели, дисциплины, аудитории. Применение методов системного анализа позволило выделить основные признаки реализованных систем построения расписаний, классифицировать и оценить их.
Результаты исследования. В результате проведенного исследования установлено, что постановки задач построения расписания занятий и расписания экзаменов практически эквивалентны и содержат: критерий качества расписания, мягкие и жесткие ограничения. Российские источники содержат подробные исследования различных задач построения расписания занятий. В то же время среди этих источников не было обнаружено работ, посвященных созданию методов и алгоритмов построения расписаний экзаменов. Зарубежные же источники почти полностью посвящены расписаниям экзаменов. Для решения рассматриваемых задач применяются методы теории графов, эвристические и гибридные оптимизационные алгоритмы, методы линейного целочисленного и нечеткого программирования, методы системного анализа и другие современные методы дискретной математики.

Introduction. Schedules of classes and exams are crucial components in the training process organization. Their quality directly affects the successful mastering of learning materials and ensures physical and psychological health of the educational process participants. The influence of educational systems features on the problem setting and solving methods under timetabling is considered. The emphasis is upon the timetabling problems in the higher education systems.
Materials and Methods. The analytical study results of a number of the Russian and foreign sources on methods and algorithms of the classes and exams timetabling automation are described. These techniques and algorithms are compared from the standpoint of modern system-analysis methods. Schedule is considered as part of the educational process support system, and, in its turn, has features of the system combining such objects as students, teachers, disciplines, and classrooms. The application of the system analysis methods allows allocating essential features of the implemented systems of timetabling, classifying and evaluating them.
Research Results. It is found that the tasking of classes scheduling and exams timetabling are practically equivalent and include the timetable quality criterion, soft and hard constraints. Russian sources contain detailed studies of various tasks of the classes timetabling. At the same time, no papers devoted to developing methods and algorithms for the examination schedules are found among these sources. However, foreign sources are largely devoted to the examination schedules. Graph theory methods, heuristic and hybrid optimization algorithms, linear integer programming techniques, system analysis methods, and other modern techniques of discrete mathematics are applied to solve the problems in hand.
Discussion and conclusions. In general, in one and the same institution, the dimension, as well as the solution to the examination

---

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
**E-mail: wadah@mail.ru
***The research is done within the frame of independent R&D.

Обсуждение и заключения. В общем случае в рамках одного и того же вуза размерность, а значит и сложность решения задачи построения расписания экзаменов ниже аналогичной задачи для занятий. В связи с расширением индивидуализации обучения в российской образовательной системе следует ожидать повышение актуальности исследований методов и алгоритмов построения расписаний экзаменов.

scheduling problem is less complicated than the classes scheduling. In connection with the expansion of the individualization of the learning process in the Russian educational system, the improvement of the research methods and algorithms relevance for constructing exams schedule is expected.

Ключевые слова: расписание экзаменов, расписание занятий, NP-полные задачи, автоматизация, ограничения.

Keywords: exam timetable, class schedule, NP-complete problems, automation, constraints.

Введение. Задача построения расписаний в образовательных системах является достаточно сложной. В общем случае она относится к классу оптимизационных NP-полных задач с ограничениями. Расписание как часть учебного процесса занимает важное место в системе образования, и составление современного рационального расписания невозможно без учета научных данных, представленных в зарубежных и российских источниках [1].

В связи с участием системы образования России в Болонском процессе задача автоматизации составления расписаний будет только расти. Интеграция российского образования с образовательной системой Европы привела к принятию ряда новых стандартов, предполагающих реформу национального высшего образования в соответствии с основными положениями Болонской декларации [2].

Изучение разработанности данной темы в России позволяет утверждать, что качественные исследования функционирования и автоматизации расписаний на данный момент практически отсутствуют.

Объектом исследования в рамках данной научной работы являются автоматизированные системы построения расписаний.

Задача составления расписания занятий и экзаменов имеет важное теоретико-методологическое и практическое значение. Ее практическая реализация предполагает учет различных предметов и форм обучения, уровня насыщенности учебных программ, а также внедрение информационных технологий в систему администрирования учебного процесса.

Задачи построения расписании экзаменов и занятий выглядят во многом эквивалентными. Тем не менее необходимо отметить, что задача построения расписания экзаменов выглядит частной задачей построения расписания занятий, т. к. в последнем случае анализируется большее количество параметров и ограничений. В любом случае решение задачи составления расписания занятий и экзаменов в вузах является вычислительно сложной и многокритериальной. Во многом это объясняется следующими ее особенностями.

— Отсутствует единый источник входной информации, что требует тщательной подготовки, сбора, обработки и структуризации большого объема разнообразных данных, поступающих от различных подразделений вуза.

— Известную сложность представляет четкая формализация и идентификация ряда исходных параметров и ограничений при составлении расписания. Таким образом, подразумевается довольно высокий уровень квалификации сотрудника, ответственного за составление расписания.

— Возможен конфликт интересов основных участников учебного процесса (преподавателей и студентов), что обусловливает сложности формализации единых требований при составлении расписания и поиска оптимального решения, удовлетворяющего заинтересованных лиц.

— Решение задачи составления расписания исключительно автоматическим путем (без участия человека) противоречит необходимости использования эвристических методов решения плохо формализуемых задач на основе принципов системного подхода.

— Универсальные алгоритмы автоматизации составления расписания занятий и экзаменов или готовых коробочных программных продуктов сложно адаптировать к конкретным условиям функционирования вуза.

Как показывает анализ литературных источников и эмпирических исследований, большинство задач автоматизации расписания экзаменов являются задачами формирования и оптимизации процесса обслуживания конечного множества требований (заявок) на осуществление определенных действий (работ, событий, операций) при существующем ограничении набора и количества ресурсов.

При составлении расписаний все существующие задачи можно разделить на две группы.

1. Задачи, которые содержат перебор большого количества параметров — исходных данных, заданных вполне конкретно (аудиторный фонд, учебные группы, дни недели и др.). Подобные задачи могут быть достаточно легко автоматизированы и решаться с помощью математических алгоритмов, заложенных в некоторую автоматизированную систему генерирования расписания занятий (экзаменов).

2. Задачи, которые содержат исходные данные, несущие ограниченную (неполную), неточную, недостоверную или неявную информацию (например, преподаватели, студенты и др.).

Именно решение задач второй группы и представляет основную сложность при составлении расписаний занятий и экзаменов в вузах.

Исходя из задачи оптимизации и автоматизации расписания экзаменов можно выделить две основные группы критериев при формировании расписаний:
— быстродействие (минимизация времени расписания) обслуживания требований;
— эффективность обслуживания требований (заявок) для задаваемого интервала времени, внутри которого формируется расписание.

Подходы и программные средства автоматизации расписаний. С позиции практического применения наибольший интерес представляет рассмотрение эффективности обслуживания требований (заявок) как показатель эффективности использования ресурсов системы. Рассмотрим существующие подходы в российской теории и практике решения задач автоматизированного составления расписания занятий и экзаменов.

Профессором Н. Н. Клеванским и рядом сотрудников Саратовского государственного аграрного университета разработаны подходы и реализовано математическое моделирование построения расписания занятий на основе мультипроектного планирования, иерархий заявок и методов ранжирования [3–6].

Исследователи исходят из того, что практическая значимость задачи формирования расписания имеет смысл, только если реализация данной задачи находится в составе интегрированной системы управления деятельностью учебного заведения. В этом случае исходные данные для формирования расписания будут генерироваться системой при решении предшествующих задач, а данные полученного расписания будут использоваться последующими задачами в системе процессов вуза.

Для решения задач построения расписания используется двухэтапный подход, включающий формирование начального расписания и его последующую оптимизацию. Под начальным расписанием понимается любое непротиворечивое расписание, удовлетворяющее обязательным ограничениям.

Задача формирования начального расписания решается последовательным выбором заявки или совокупности заявок и последующим ее включением в расписание в выбранное время начала выполнения действия. Таким образом, на каждом шаге решения задачи формирования начального расписания присутствуют две операции выбора, после чего принимаются некоторые решения.

Задача оптимизации начального расписания решается последовательным выбором действия или совокупности действий и последующей их перестановкой в расписании. В данном случае на каждом шаге решения задачи оптимизации начального расписания также присутствуют две операции выбора, после чего принимаются некоторые решения.

Исследователи С. В. Балтак и Ю. Н. Сотсков предлагают представлять процесс составления расписания как раскраску вершин графа с дополнительными ограничениями на множестве цветов [7]. При этом для оптимизации раскраски графа предложено создание эвристических алгоритмов, позволяющих строить практически приемлемые расписания учебных занятий в средних, специальных или высших учебных заведениях.

Выбор графовой модели авторы объясняют тем, что процесс обучения в общеобразовательной школе можно считать детерминированным, поскольку для каждого класса заранее определен список предметов, который не изменяется в образовательном процессе в течение длительного периода времени. Преподавательский коллектив и группы учеников (классы), как правило, остаются неизменными во время всего планового периода. В силу такой детерминированности задача построения расписания может быть сформулирована в терминах раскраски вершин графа.

Функция ϕ выступает раскраской (вершин) графа $G = (V, E)$. Для каждой вершины $V_i \in V$ она определяет натуральное число (цвет) $\phi(V_i) \in N$ так, что из включения $[V_i, V_j] \in E$ следует соотношение $\phi(V_i) \neq \phi(V_j)$. N обозначает подмножество множества натуральных чисел. В задаче оптимальной раскраски графа требуется построить раскраску $\phi: V \to N$ вершин графа $G = (V, E)$, которая содержит минимальное число цветов.

Предложенная система на основе использования стандартного пакета *Microsoft Office* (инструмент *Excel*) была протестирована авторами в средней общеобразовательной школе № 21 г. Минска. В качестве множества переменных и существующих ограничений авторы приводят следующие фактические данные:
— учебных классов — 17;
— преподавателей — 34;
— аудиторий — 27;
— общее количество занятий, проведенных за неделю, — 503.

Авторы отмечают, что после соответствующей настройки разработанная ими система может быть использована и для составления расписаний занятий в училищах и колледжах.

Представленная система может использоваться также при составлении расписаний в высших учебных заведениях. При этом следует учитывать, что что вузовские аудитории могут располагаться в разных зданиях, в связи с чем

возникает задача оптимального распределения занятий между зданиями. Эта задача также представляется в терминах раскраски вершин графа с критерием минимизации переходов групп студентов и преподавателей из одного здания в другое, что соответствует запрещению некоторых последовательностей цветов для некоторых подмножеств вершин.

Похожий теоретико-методологический подход был использован С. Н. Зиминым для разработки программного модуля *DemoGraph*, способного составлять учебные расписания на основе исходных данных, вводимых пользователем. Кроме того, процесс визуализируется и сохраняются полученные результаты [8].

Кроме модуля *DemoGraph* в программу включен модуль *IniCreator*, позволяющий создавать файлы входных данных.

Работа программы реализуется в три этапа.

1. Загрузка специального конфигурационного файла *.ini с помощью кнопки Открыть или пункта меню Файл Открыть (*Ctrl-O*). При этом согласно информации, содержащейся в файле, сформируется граф.

2. Раскраска графа осуществляется с помощью кнопки Раскрасить.

3. Сохранение составленного расписания осуществляется с помощью кнопки Сохранить или пункта меню Файл Сохранить (*Ctrl-S*).

Программа на основе раскрашенного графа создает расписание и сохраняет его в виде таблицы в указанном файле. Созданию расписания предшествует загрузка входной информации, содержащейся в специальном файле с фиксированной структурой. Для создания таких файлов автором и был разработан модуль *INICreator*. Запуск данного модуля возможен из окна программы с помощью кнопки Редактор либо из папки с программой (файл *INICreator.exe*).

Доктором технических наук, профессором И. Ф. Астаховой и другими специалистами Воронежского государственного технического университета в ряде работ изложены подходы к составлению расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма [9–12].

Предложенная И. Ф. Астаховой и А. М. Фирас математическая модель на основе генетического алгоритма состоит из следующих основных шагов:

— формирование начальной популяции;
— селекция особей;
— скрещивание особей случайными значениями функции пригодности;
— операция мутации над потомством;
— отбор особей в новую популяцию;
— проверка критерия остановки алгоритма;
— выбор наилучшей особи [10].

Авторами было составлено расписание для одного из факультетов Воронежского государственного университета на один семестр. Каждая учебная неделя состояла из пяти дней по 3 пары в день. Для составления расписания были задействованы 8 учебных групп, 18 преподавателей, 53 учебных предмета (дисциплины), 7 аудиторий. На основе использования математической модели был разработан программный комплекс на языке C# и в конкретной ситуации проведен вычислительный эксперимент, который показал, что разработанный комплекс может быть успешно реализован для составления расписаний учебных занятий в вузах.

В диссертационном исследовании Г. Ф. Низамовой используются методы системного анализа. Это позволяет упростить решаемую задачу, но обусловливает необходимость жесткой привязки составленного расписания к преподавательскому составу [13].

Диссертационное исследование И. С. Семенюта посвящено вопросам проведения системного анализа и оптимизации технологического процесса автоматизации составления расписания занятий вуза с детерминированными ограничениями. Автором построена математическая модель задачи составления расписания занятий вуза в терминах линейного целочисленного программирования. Разработана методика ранжировки критериев и упорядочения альтернатив по качеству на основе попарного сравнения порогов совместимости, а также методика проектирования объектно-ориентированной структуры базы данных на основе построения мультиграфа, который представляет собой объектную модель предметной области, объединяющую информационные элементы и технологии обработки данных [14].

Т. С. Бабкина из Нижегородского филиала Государственного университета — Высшей школы экономики предлагает решать задачу составления расписаний на основе построения математической модели с использованием многоагентного подхода [15].

Т. В. Милехина в своем диссертационном исследовании формулирует задачу построения расписания учебных занятий как задачу линейного целочисленного программирования. Составление расписания представлено автором как распределенный во времени процесс выполнения некоторого набора заданий с помощью некоторого набора ресурсов с учетом ряда начальных и граничных условий и требований, налагаемых на искомое расписание. При формализации автором выделены следующие объекты: студенческие группы, преподаватели, учебные дисциплины, временные ин-

тервалы и аудитории. Также в работе рассматриваются 4 жестких ограничения и 10 мягких, из которых конструируются частные критерии оптимальности, и для них выполняется линейная свертка с получением одного критерия оптимальности. Для решения задачи автором применяется эвристический алгоритм последовательного размещения учебных занятий в сетке расписания [16].

В диссертационном исследовании Ф. М. Асвад представлена типовая формализация построения задачи составления расписания занятий с выделением объектов, связей между ними и введением ограничений (жестких и мягких). Для решения задачи составления расписания занятий разработана модификация генетического алгоритма с мультихромосомным представлением и специализированными генетическими операторами [17].

В последние годы особое распространение получили исследования методов эволюционного поиска. Применение таких методов приводит к получению хороших результатов, однако имеет место высокая вычислительная трудоемкость и относительная неэффективность на заключительных этапах эволюции.

В настоящее время для решения задачи составления расписания применяется инновационный подход на основе использования нейронных сетей. Проблемой применения данного подхода является сложность выбора начального состояния нейронной сети.

Необходимо отметить, что для составления расписания занятий в высших учебных заведениях сегодня существует несколько различных программных продуктов, например: *AVTOR*-2003 *High Shool Pro*, «АСТРА», «ХроноГраф 3.0 Мастер», «Экспресс-расписание», «Составитель расписания — 2007», «Расписание 98» и др. Указанные системы имеют ряд возможностей:

— ручной и автоматизированный режимы составления расписания, добавления, удаления и редактирования учебных групп, списка учебных аудиторий, списков преподавателей и их пожеланий по времени работы;
— редактирование учебного плана и списка учебных предметов;
— внесение изменений в полученное расписание;
— экспорт и печать полученных результатов;
— публикация на сайте учебного заведения.

Например, программа «Составитель расписания» позволяет выполнять следующие функции:

— задавать все необходимые параметры для составления расписания;
— импортировать и экспортировать исходные данные для составления расписания на локальном компьютере;
— заполнять сетку расписания как в автоматическом, так и в ручном режиме;
— выявлять и контролировать конфликтные ситуации в расставленных часах расписания;
— получать результаты работы программы в виде отчетов;
— публиковать расписание в сети интернет как на сайте учебного заведения, так и на сервисе «Составитель расписания» [18].

В табл. 1 представлены основные характеристики программы «Составитель расписания».

Таблица 1
Table 1

Основные характеристики программы «Составитель расписания»
Main features of “Schedule Provider” program

Параметр	Содержание
Количество предметов/дисциплин	Не ограничено
Количество учебных планов	Не ограничено
Количество уровней обучения	Не ограничено
Количество графиков (преподаватели, помещения, классы)	Не ограничено
Деление классов на группы	Да
Количество групп в классе	Не ограничено
Объединение классов или групп в потоки	Да
Период составления	На 2 недели
Интерактивный контроль ошибок при составлении	Да

Как следует из описания программного продукта «Составитель расписания» и его основных характеристик, он предназначен, прежде всего, для составления школьных расписаний. При определенной адаптации его можно применить для вуза, но серьезным недостатком является ограниченный период планирования (не более 2 недель).

Другие программные продукты в области автоматизации составления расписания также не лишены недостатков. Например, в них отсутствует интерфейс преподавателя, позволяющий просматривать график его работы, не учитывается вместимость аудиторий и их специфика, отсутствует возможность объединения учебных групп в потоки для проведения потоковых занятий.

Как показывает проведенный анализ, в основном данные программные продукты ориентированы на использование в средних учебных заведениях, колледжах и гимназиях.

Одна из немногих программ, позволяющих составлять расписания в вузах, — «Расписание 98». Ее специфика заключается в составлении расписания по учебным парам как в ручном, так и в автоматическом режиме. Детализация составления расписания недельная, а период составления — один год. В «Расписании 98» недельная нагрузка преподавателей может быть распределена на весь учебный год, исходя из графика учебного процесса. Возможно составление уникального расписания для любой учебной недели в течение года, а также получение вычитки часов для учебной группы, преподавателя или по учебному предмету [19].

Используемая программой «Расписание 98» база данных может быть создана автономно или импортирована из программы «Учебный план». Важное преимущество программы — возможность составления шаблонного расписания занятий на семестр при синхронизации недельного расписания занятий. Также программа позволяет подбирать замены, распределять аудитории в ручном и автоматическом режиме.

Несомненный интерес представляют отечественные разработки системы «АВТОРасписание» (прежде всего, *AVTOR*-2003 *High Shool Pro* как наиболее сложный вариант программы для вузов), предназначенной для быстрого, удобного и качественного составления расписаний занятий для средних и высших учебных заведений, а также их сопровождения в течение всего учебного года.

Первая версия программы *AVTOR* была разработана в 1993 году научным сотрудником Ростовского государственного университета (сейчас Южный федеральный университет) И. О. Губенко. Первоначально программа предназначалась для использования в многопрофильном лицее при университете. В 2001 году была впервые внедрена в эксплуатацию первая вузовская версия для заочной формы обучения [20].

На сегодняшний день существует несколько различных разработок программы *AVTOR*, ориентированных на использование в различных учебных заведениях (рис. 1).

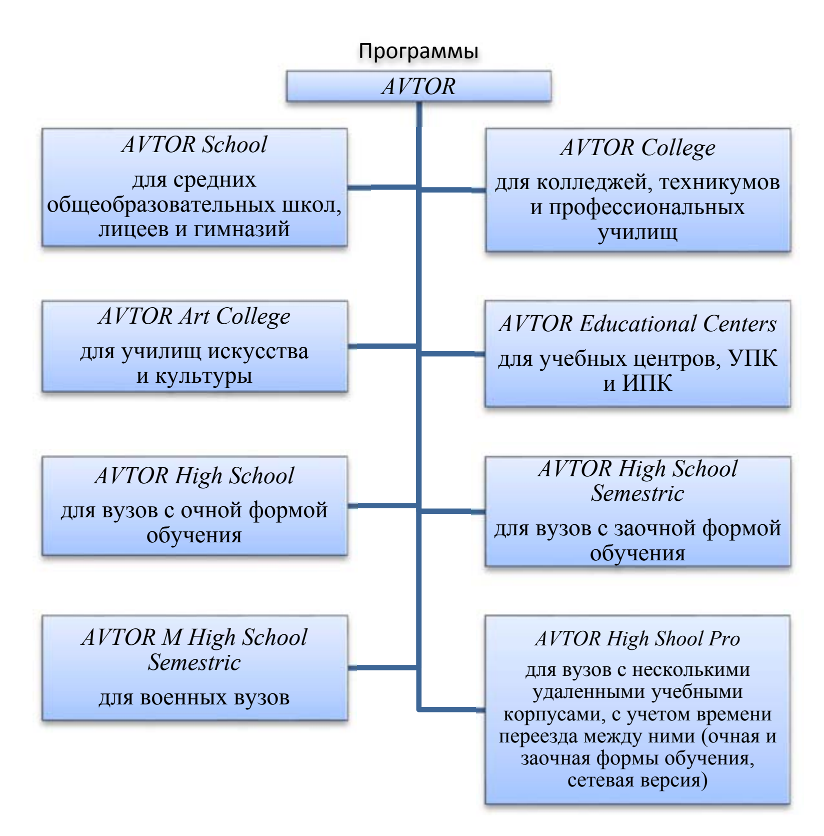


Рис. 1. Программы *AVTOR*, ориентированные на использование в различных учебных заведениях

Fig. 1. *AVTOR* programs for application in various educational institutions

Сравнительный анализ работы программы *AVTOR* и программ других разработчиков неоднократно проводился специалистами разных учебных заведений. Результаты этих исследований позволяют утверждать, что *AVTOR* имеет

самый мощный алгоритм автоматического составления и оптимизации расписаний. Работая в 10–20 раз быстрее аналогов, программа строит более качественные расписания по многим критериям. Например, количество «окон» в расписании преподавателей в 2–3 раза меньше, чем при использовании других программ.

AVTOR является программным продуктом с уникальными возможностями. Основные преимущества данной программы по сравнению с существующими аналогами:

— быстродействие, компактность системных файлов и возможность работы программы в масштабных и территориально разобщенных учебных заведениях со сложными расписаниями;

— высокий уровень автоматизации составления расписания (размещает 100 % возможных занятий);

— высокая производительность: система позволяет в течение одного сеанса работы создать новое расписание, а затем быстро корректировать, сохранять, распечатывать различные варианты расписаний, модифицируя их при необходимости в течение всего учебного года;

— мощный автоматизированный «Редактор расписаний» позволяет легко выполнять любые действия с расписанием (добавление, удаление, перестановка занятий, расчет и оптимизация расписания, смена кабинетов, замена преподавателей и т. д.), подсказывая при этом различные варианты перестановок (изменений) расписания и сравнивая их качество;

— наличие подробной статистики и объективной оценки качества любого варианта расписания;

— возможность поддержки любого национального языка (по желанию клиента) [20].

Кроме того, *AVTOR* модифицируется и настраивается под условия конкретного учебного заведения (с учетом специфики организации учебного процесса, режима работы, формы документов и т. п.).

Сегодня программы *AVTOR* используются в десятках вузов России, например, в таких, как: Ростовский государственный экономический университет, Ростовский институт управления, бизнеса и права, Донской государственный технический университет и др.

Специалистами Международного университета природы, общества и человека «Дубна» (филиал «Дмитров») разработана собственная программа для составления расписания в вузе [21].

При этом был предложен метод решения задачи, основанный на выборе лучшего варианта расписания из некоторого числа случайно сгенерированных расписаний, удовлетворяющих всем заявленным требованиям. Интересно, что для оценки качества расписания авторами использована штрафная функция, которая позволяет сопоставить любому варианту расписания числовой эквивалент. В результате задача поиска оптимального расписания сводится к выбору такого варианта расписания, для которого значение штрафной функции будет минимальным.

Созданная автоматизированная система разработки расписания включает в себя следующие основные компоненты: интерфейсы учебной части, преподавателя и студента, а также модули экспортирования данных на сайт и генерации расписания.

Сотрудник учебной части вуза, используя логин и пароль, через специальный интерфейс вводит в систему исходные данные: список кафедр, курсов, групп, аудиторий, преподавателей и учебный план. Преподаватели, используя свой интерфейс, логин и пароль, вводят в систему дни недели, в которые они могут проводить занятия в университете. После внесения исходных данных система запускается для генерации оптимального варианта расписания. Этот вариант можно отредактировать, распечатать, сохранить и с помощью модуля экспортирования данных разместить на сайте, где произойдет его автоматическое обновление.

Студент, используя специальный интерфейс, может просмотреть все расписание или выборочно для конкретной учебной группы. Система позволяет преподавателю просмотреть график его работы. Система может функционировать на одном компьютере, в локальной сети или в глобальной сети интернет.

Разработанный алгоритм генерации расписания позволяет выявить ошибки, при которых сгенерировать расписание невозможно. При появлении таких ошибок авторы рекомендуют запустить процесс генерации еще раз, а при последующем их появлении пересмотреть учебный план, рабочие дни преподавателей, список учебных аудиторий и списки групп.

При тестировании в систему были введены данные для генерации расписания занятий 8 учебных групп студентов и использовались следующие входные данные:

— список преподавателей включал 23 человека;

— список учебных предметов включал 68 наименований (при этом лекция и семинар по одной дисциплине рассматривались как разные предметы);

— список аудиторий содержал 10 наименований (включая 2 компьютерные аудитории и спортзал);

— учебный план.

Проведя генерацию 1000 вариантов расписаний, авторы получили оптимальное расписание со значением штрафной функции, равным 11640 баллам и 7 «окнами». Время генерации при этом составило 1473 секунд (около 25

минут). Для сравнения, расписание, составленное методистом учебной части вуза, содержало 10 «окон», значение штрафной функции для него составило 19600 баллов [21].

В данной ситуации важно, что после автоматической генерации полученное расписание можно отредактировать и тем самым еще уменьшить значение штрафной функции, т. е. улучить вариант расписания.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в нашей стране задача построения расписания решается преимущественно с позиции формирования сетки занятий, где экзамены выступают лишь частным случаем общей системы занятий по различным предметам обучения в течение учебного года.

Анализ зарубежного опыта показывает, что разработка расписания экзаменов является востребованной и актуальной задачей для многих вузов и колледжей.

Так, специалистами факультета информационных наук и технологий Университета Малайзии (University Kebangsaan Malaysia) было разработано интеллектуальное программное обеспечение «Экспертиза расписаний» (Intelligent Examination Timetabling Software) [22].

Ранее функцию планирования в университете осуществлял сотрудник на основе собственного опыта и знаний, с использованием стандартного пакета компьютерного программного обеспечения, что представляло собой довольно трудоемкий процесс. Поэтому специалисты университета предложили интеллектуальный коммерческий планировщик, который способен качественно выполнять экспертизу графика с использованием метаэвристического метода. При этом разработчиками использована целевая функция для оценки качества графика. Во-первых, она учитывает временные интервалы и дни при назначении экзаменов на этих временных интервалах. Во-вторых, она дает более высокий приоритет минимизации количества студентов, имеющих в тот же день другие экзамены. Это позволяет не только получить удобное расписание экзаменов, но и снизить экзаменационный стресс среди студентов, улучшить результаты экзаменов.

При разработке программного решения проведение экспертизы расписаний представляется в виде трудноразрешимой задачи, которая может быть определена как процедура назначения некоторого набора экзаменов на заданном числе временных интервалов и помещений при имеющемся множестве жестких и мягких ограничений.

Жесткие ограничения должны быть удовлетворены при любых обстоятельствах. Например, студент не может иметь два экзамена одновременно. Мягкие ограничения должны быть удовлетворены в максимально возможной степени. Примером мягкого ограничения выступает распределение экзаменов как можно более равномерно по всему графику. Из-за сложности задачи, как правило, невозможно найти решение, которое удовлетворяло бы всем мягким ограничениям. Поэтому для оценки качества расписания авторами использована система штрафов за нарушение мягких ограничений.

Предлагаемая исследователями система построения расписания экзаменов состоит из двух этапов. На первом строится расписание, удовлетворяющее всем жестким ограничениям. На втором этапе с помощью метаэвристических методов происходит поиск варианта расписания с наименьшим количеством нарушений мягких ограничений. Разработанная система является гибкой, пользователь может выбрать жесткие и мягкие ограничения для конструктивного формирования расписания экзаменов. Результаты проведенного исследования направлены на практическое применение в Bahagian Pengurusan Akademik для построения расписаний высокого качества за короткие сроки.

Специалистами Университета короля Сауда в Эр-Рияде (Саудовская Аравия) разработаны подходы к составлению расписания экзаменов на основе использования генетического алгоритма [23].

При решении задачи календарного планирования экзаменов исследователями были использованы две фазы оптимизации расписания. Каждая из этих фаз имеет различный набор жестких ограничений, которые подлежат обязательному удовлетворению при составлении расписания (например, «аудитория не может быть использована для двух экзаменов одновременно» или «для каждого экзамена количество мест в аудитории должно быть равно или больше, чем число студентов, сдающих экзамен»). Кроме того, исследователями обозначены мягкие ограничения, призванные улучшить качество расписания экзаменов (например, «количество свободных мест во всех аудиториях должно быть сведено к минимуму»).

На первом этапе исследования используется двухмерная перестановка кодирования для построения «хромосомы». Каждый экзамен назначается на одну или несколько аудиторий (ячеек в двухмерной матрице). Первое измерение хромосомы (матрица, строка) представляет собой количество дней в период трехнедельной экспертизы. Второе измерение (столбец) представляет собой набор экзаменов. Пересечение строки и столбца представляет собой аудиторию (позицию), назначенную для каждого экзамена, которая в дальнейшем подвергается оптимизации на основе изменения сочетаний. Для поиска оптимального решения используется функция затрат. Перемешивание (изменение, мутация) продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто наилучшее сочетание показателей (популяция).

На втором этапе для поиска лучшей популяции используются новые жесткие и мягкие ограничения с позиции контроля проведения экзаменов. Пример для первого случая: «лицо, контролирующее экзамен, не может контролировать более одного экзамена в одно и то же время или более чем один экзамен в тот же день». Пример для второго слу-

чая: «каждый прокурист имеет максимальное количество часов для контроля в течение трех недель в зависимости от общего количества экзаменов и количества доступных прокуристов».

Как и на первом шаге, в данном случае происходит мутация полученных решений с целью поиска наилучшей популяции, удовлетворяющей ограничениям в области наиболее эффективного использования прокуриста. Для поиска оптимального решения используется функция затрат, а изменения продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто наилучшее сочетание показателей.

Экспериментальные результаты показали эффективность разработанного алгоритма. Так, например, по мягким ограничениям улучшение после оптимизации составляло свыше 80 %, а по жестким — свыше 35 %. Время поиска оптимального решения составляло около 13 секунд (без учета времени ввода данных).

В 2010 году специалистами из Иордании было проведено подобное исследование по улучшению оптимизации выбора расписания экзаменов на основе совершенствования алгоритма отбора оптимальных решений [24].

Похожие подходы по использованию генетического алгоритма для оптимизации расписания экзаменов были использованы специалистами Университета Тайской торговой палаты (Бангкок, Таиланд) в ряде исследований, проведенных в течение 2007–2013 гг. [25, 26].

Тайскими специалистами Танг Ван Ту и Со Сан Вин проблема составления расписания экзаменов рассмотрена с позиции кластеризации. Результаты проведенных экспериментов показали, что распределение экзаменов на временные интервалы на основе кластеризации позволяет получить меньшее количество конфликтов между существующими ограничениями. Эвристический подход на основе последовательного кругового поиска оптимального решения позволяет найти наилучший временной интервал для проведения экзамена и дает наиболее справедливое распределение экзаменов по временному периоду [25, 26].

Выводы. Таким образом, на основе обзора литературных источников по теме автоматизации составления расписания занятий и экзаменов можно сделать следующие выводы.

1. Задачи построения расписаний занятий и экзаменов сходны по постановке, целям и методам решения.
2. Размерность и сложность решения задачи построения расписания занятий превышает значение этих параметров в задаче построения расписания экзаменов.
3. Российские исследователи в большей степени занимаются решением задач построения расписания занятий — более сложным классом задач по сравнению с задачами построения расписаний экзаменов.
4. Потребность в решении задач автоматизации построения расписания занятий будет возрастать, что обусловлено развитием российской образовательной системы и переходом к более широкому использованию индивидуальных траекторий обучения.

Библиографический список

1. Моисеенко, Н. А. Трансформационное обучение и холистический подход в информационно-образовательной среде технического вуза [Электронный ресурс] / Н. А. Моисеенко // Инженерный вестник Дона. — 2013. — Т. 27, №4. — С. 80.

2. Анисимова, Г. Б. ИС автоматизации формирования учебно-методических материалов в условиях реформы высшей школы [Электронный ресурс] / Г. Б. Анисимова, М. В. Романенко // Инженерный вестник Дона. — 2013. — Т. 27, № 4. — С. 265.

3. Клеванский, Н. Н. Задача формирования календарных графиков мультипроектного планирования / Н. Н. Клеванский, А. А. Красников // Доклады Академии военных наук. — 2013. — № 3 (58). — С. 89–93.

4. Клеванский, Н. Н. Математическое моделирование формирования начальных многопериодных расписаний / Н. Н. Клеванский, Е. Ф. Кравцов // Вестник Саратовского государственного технического университета. — 2009. — Т. 3, № 1. — С. 100–106.

5. Клеванский, Н. Н. Подходы к формированию расписаний для иерархий заявок / Н. Н. Клеванский, М. М. Михайлова // Доклады Академии военных наук. — 2012. — № 5 (54). — С. 77–82.

6. Клеванский, Н. Н. Формирование расписания занятий университета с использованием методов ранжирования / Н. Н. Клеванский, С. С. Кашин // Вестник Саратовского государственного технического университета. — 2010. — № 4 (49). — С. 143–150.

7. Балтак, С. В. Построение расписаний учебных занятий на основе раскраски вершин графа / С. В. Балтак, Ю. Н. Сотсков // Информатика. — 2006. — № 3. — С. 58–69.

8. Зимин, С. Н. Составление учебного расписания, используя теорию графов / С. Н. Зимин //Современные наукоемкие технологии. — 2007. — № 11. — С. 89–90.

9. Астахова, И. Ф. Разработка информационной системы построения расписания / И. Ф. Астахова, Т. В. Курченкова // Математика. Образование. Экология. Гендерные проблемы : мат-лы междунар. конф. — Москва : Прогресс-Традиция, 2001. — Т. 2. — С. 287–290.

10. Астахова, И. Ф. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма / И. Ф. Астахова, А. М. Фирас // Вестник Воронеж. гос. ун-та. — 2013. — № 2. — С. 93–99.

11. Коробкин, А. А. Использование агрегативного генетического алгоритма для составления расписания / А. А. Коробкин // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 5, № 11. — С. 184–186.

12. Коробкин, А. А. Разработка моделей информационной системы построения расписания / А. А. Коробкин, И. Ф. Астахова // Современные проблемы математики и математического моделирования : мат-лы III междунар. науч. конф. — Воронеж : Научная книга, 2009. — Ч. 2. — С. 156.

13. Низамова, Г. Ф. Математическое и программное обеспечение составления расписания учебных занятий на основе агрегативных генетических алгоритмов : автореф. дис. … канд. техн. наук / Г. Ф. Низамова. — Уфа, 2006. — 17 с.

14. Семенюта, И. С. Системный анализ и оптимизация технологического процесса автоматизации составления расписания занятий вуза с детерминированными ограничениями : автореф. дис. … канд. техн. наук / И. С. Семенюта. — Краснодар, 2011. — 24 с.

15. Бабкина, Т. С. Задача составления расписаний: решение на основе многоагентного подхода / Т. С. Бабкина // Бизнес-информатика. — 2008. — № 1. — С. 23–28.

16. Милехина, Т. В. Повышение эффективности кластерных систем обработки информации при решении оптимизационных задач (на примере задачи составления расписания занятий) : автореф. дис. … канд. техн. наук / Т. В. Милехина. — Москва, 2011. — 23 с.

17. Асвад, Ф.-М. Модели составления расписания занятий на основе генетического алгоритма на примере вуза Ирака : автореф. дис. … канд. техн. наук / Ф.-М. Асвад. — Воронеж, 2013. —16 с.

18. Ильинский, В. В. Составительрасписания.рф. Компьютерная программа для составления расписания занятий [Электронный ресурс] / В. В. Ильинский. — Режим доступа : http://www.составительрасписания.рф (дата обращения 28.01.17).

19. Берсон, М. Г. Расписание 98 XP-1.0.2010 [Электронный ресурс] / М. Г. Берсон // Комплекс программ. Официальный сайт разработчика программного обеспечения для учебных организаций. — Режим доступа: http://www.markberson.ru (дата обращения: 28.01.17).

20. Губенко, И. О. Приложение АВТОРасписание [Электронный ресурс] / И. О. Губенко // Лаборатория ММИС. — Режим доступа : http://www.mmis.ru/Default.aspx?tabid=160 (дата обращения: 28.01.17).

21. Завьялов, А. М. Автоматизация задачи составления учебного расписания / А. М. Завьялов, А. В. Новиков // Системный анализ в науке и образовании. — 2009. — № 1. — С. 1–20.

22. Intelligent Examination Timetabling Software / M. Ayob [et al.] // Procedia Social and Behavioral Sciences. — 2011. — № 18. — P. 600–608.

23. Hosny, M. A Mutation-Based Genetic Algorithm for Room and Proctor Assignment in Examination Scheduling / M. Hosny, M. Al-Olayan // Science and Information Conference. — London, 2014. — P. 260–268.

24. AISharafat, W.-S. Adaptive Steady State Genetic Algorithm for Scheduling University Exams / W.-S. AISharafat, M.-S. AISharafat // International Conference on Networking and Information Technology. — Manila, 2010. — P. 70–74.

25. Innet, S. A Noval Approach of Genetic Algorithm for Solving Examination Timetabling Problems a case study of Thai Universities / S. Innet // 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). — Surat Thani, 2013. — P. 233–237.

26. To T.-V. Clustering Approach to Examination Scheduling / T.-V. To, S.-S. Win // 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE). — Chengdu, 2010. — Vol. 5. — P. 228–230.

References

1. Moiseenko, N.A. Transformatsionnoe obuchenie i kholisticheskiy podkhod v informatsionno-obrazovatel'noy srede tekhnicheskogo vuza. [Transformational learning and holistic approach to information-educational environment of technical university.] Engineering Journal of Don, 2013, vol. 27, no. 4, pp. 80 (in Russian).

2. Anisimova, G.B., Romanenko, M.V. IS avtomatizatsii formirovaniya uchebno-metodicheskikh materialov v usloviyakh reformy vysshey shkoly. [IP automation of teaching materials formation under conditions of higher school reform.] Engineering Journal of Don, 2013, vol. 27, no. 4, pp. 265 (in Russian).

3. Klevansky, N.N., Krasnikov, A.A. Zadacha formirovaniya kalendarnykh grafikov mul'tiproektnogo planirovaniya. [Task of generating multi-project schedule charts.] Reports of Military Sciences Academy, 2013, no. 3 (58), pp. 89–93 (in Russian).

4. Klevansky, N.N., Kravtsov, E.F. Matematicheskoe modelirovanie formirovaniya nachal'nykh mnogoperiodnykh raspisaniy. [Mathematical modeling for initial multiperiodic timetable.] Vestnik Saratov State Technical University, 2009, vol. 3, no. 1, pp. 100–106 (in Russian).

5. Klevansky, N.N., Mikhailova, M.M. Podkhody k formirovaniyu raspisaniy dlya ierarkhiy zayavok. [Approaches to request hierarchies scheduling.] Reports of Military Sciences Academy, 2012, no. 5 (54), pp. 77–82 (in Russian).

6. Klevansky, N.N., Kashin, S.S. Formirovanie raspisaniya zanyatiy universiteta s ispol'zovaniem metodov ranzhirovaniya. [Solving the university course timetabling problems by the use of ranking methods.] Vestnik Saratov State Technical University, 2010, no. 4 (49), pp. 143–150 (in Russian).

7. Baltak, S.V., Sotskov, Y.N. Postroenie raspisaniy uchebnykh zanyatiy na osnove raskraski vershin grafa. [Generating course timetabling on the basis of vertex graph coloring.] Informatics, 2006, no. 3, pp. 58–69 (in Russian).

8. Zimin, S.N. Sostavlenie uchebnogo raspisaniya, ispol'zuya teoriyu grafov. [Timetabling with the use of graph theory.] Modern High Technologies, 2007, no. 11, pp. 89–90 (in Russian).

9. Astakhova, I.F., Kurchenkova, T.V. Razrabotka informatsionnoy sistemy postroeniya raspisaniya. [Development of information system for timetabling.] Matematika. Obrazovanie. Ekologiya. Gendernye problemy: mat-ly mezhdunar. konf. [Mathematics. Education. Ecology. Gender issues: Proc. Int. Conf.] Moscow: Progress-Traditsiya, 2001, vol. 2, pp. 287–290 (in Russian).

10. Astakhova, I.F., Firas, A.M. Sostavlenie raspisaniya uchebnykh zanyatiy na osnove geneticheskogo algoritma. [Drawing up the schedule of studies on the basis of genetic algorithm.] Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems analysis and information technologies, 2013, no. 2, pp. 93–99 (in Russian).

11. Korobkin, A.A. Ispol'zovanie agregativnogo geneticheskogo algoritma dlya sostavleniya raspisaniya. [Use of aggregate genetic algorithm for schedule drawing up.] Proceedings of Voronezh State University, 2009, vol. 5, no. 11, pp. 184–186 (in Russian).

12. Korobkin, A.A, Astakhova, I.F. Razrabotka modeley informatsionnoy sistemy postroeniya raspisaniya. [Development of models of the timetabling information system.] Sovremennye problemy matematiki i matematicheskogo modelirovaniya: mat-ly III mezhdunar. nauch. konf. [Modern problems of mathematics and mathematical modeling: Proc. III Int. Sci. Conf.] Voronezh: Nauchnaya kniga, 2009, Part 2, pp. 156 (in Russian).

13. Nizamova, G.F. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sostavleniya raspisaniya uchebnykh zanyatiy na osnove agregativnykh geneticheskikh algoritmov: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk. [Mathematical and software support for training agenda timetabling based on the aggregative genetic algorithms: Cand.Sci. (Eng.) diss., author's abstract.] Ufa, 2006, 17 p. (in Russian).

14. Semenyuta, I.S. Sistemnyy analiz i optimizatsiya tekhnologicheskogo protsessa avtomatizatsii sostavleniya raspisaniya zanyatiy vuza s determinirovannymi ogranicheniyami: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk . [System analysis and optimization of university timetabling automation process with deterministic constraints: Cand.Sci. (Eng.) diss., author's abstract.] Krasnodar, 2011, 24 p. (in Russian).

15. Babkina, T.S. Zadacha sostavleniya raspisaniy: reshenie na osnove mnogoagentnogo podkhoda. [Scheduling problem: solution based on multi-agent approach.] Business Informatics, 2008, no. 1, pp. 23–28 (in Russian).

16. Milekhina, T.V. Povyshenie effektivnosti klasternykh sistem obrabotki informatsii pri reshenii optimizatsionnykh zadach (na primere zadachi sostavleniya raspisaniya zanyatiy): avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk. [Improving the efficiency of clustered data processing systems for solving optimization problems (scheduling problem case): Cand.Sci. (Eng.) diss., author's abstract.] Moscow, 2011, 23 p. (in Russian).

17. Aswad, F.-M. Modeli sostavleniya raspisaniya zanyatiy na osnove geneticheskogo algoritma na primere vuza Iraka: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk. [Scheduling training sessions based on genetic algorithm for Iraqi university: Cand.Sci. (Eng.) diss., author's abstract.] Voronezh, 2013, 16 p. (in Russian).

18. Ilyinskiy, V.V. Sostavitel'raspisaniya.rf. Komp'yuternaya programma dlya sostavleniya raspisaniya zanyatiy. [Sostavitelraspisaniya.rf. A computer program for timtabling.] Available at: http://www.составительрасписания.рф (accessed: 28.01.17) (in Russian).

19. Berson, M.G. Raspisanie 98 XP-1.0.2010. Kompleks programm. Ofitsial'nyy sayt razrabotchika programmnogo obespecheniya dlya uchebnykh organizatsiy. [Schedule 98 XP-1.0.2010. Complex of programs. Official website of software developer for educational institutions] Available at: http://www.markberson.ru (accessed: 28.01.17) (in Russian).

20. Gubenko, I.O. Prilozhenie AVTORaspisanie. Laboratoriya MMIS. [AVTORaspisanie application. Laboratory of MMIS.] Available at: http://www.mmis.ru/Default.aspx?tabid=160 (accessed: 28.01.17) (in Russian).

21. Zavyalov, A.M., Novikov, A.V. Avtomatizatsiya zadachi sostavleniya uchebnogo raspisaniya. [Automation of problem of timetable making.] Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii, 2009, no. 1, pp. 1–20 (in Russian).

22. Ayob, M, et al. Intelligent Examination Timetabling Software. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2011, no. 18, pp. 600–608.

23. Hosny, M., Al-Olayan, M. A Mutation-Based Genetic Algorithm for Room and Proctor Assignment in Examination Scheduling. Science and Information Conference. London, 2014, pp. 260–268.

24. AISharafat, W.-S., AISharafat, M.-S. Adaptive Steady State Genetic Algorithm for Scheduling University Exams. International Conference on Networking and Information Technology. Manila, 2010, pp. 70–74.

25. Innet, S. A Noval Approach of Genetic Algorithm for Solving Examination Timetabling Problems: a case study of Thai Universities. 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). Surat Thani, 2013, pp. 233–237.

26. To, T.-V., Win, S.-S. Clustering Approach to Examination Scheduling. 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE). Chengdu, 2010, vol. 5, pp. 228–230.

Поступила в редакцию 24.10.2016
Сдана в редакцию 24.10.2016
Запланирована в номер 11.01.2017

Об авторе:

Аль-Габри Вадах Мохаммед Нассер, аспирант Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3175-5807,
wadah@mail.ru

Received 24.10.2016
Submitted 24.10.2016
Scheduled in the issue 11.01.2017

Author:

Al-Gabri, Wadhah M., postgraduate student, Don State Technical University (RF, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3175-5807,
wadah@mail.ru